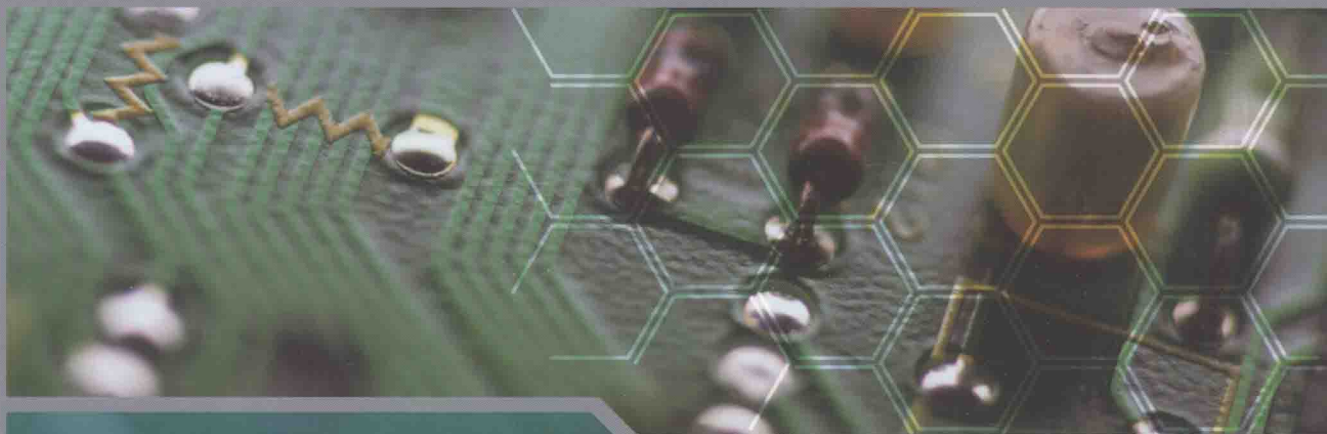




高等职业教育电子信息类专业规划教材

GAO DENG ZHI YE JIAO YU DIAN ZI XIN XI LEI ZHUAN YE GUI HUA JIAO CAI



电路与信号基础

■ 袁贵民 高英 主 编

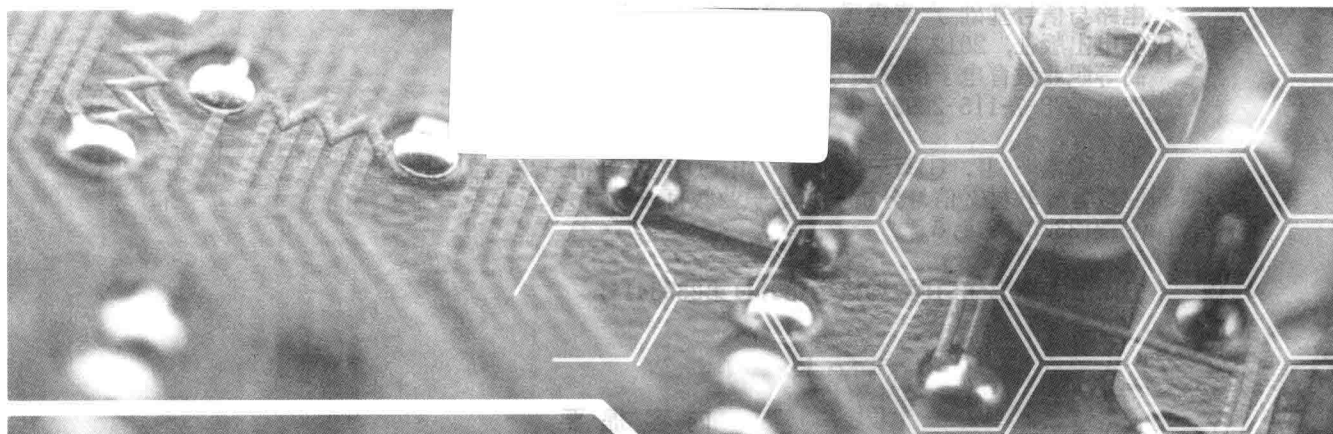


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



高等职业教育电子信息类专业规划教材

GAO DENG ZHI YE JIAO YU DIAN ZI XIN XI LEI ZHUAN YE GUI HUA JIAO CAI



电路与信号基础

■ 袁贵民 高英 主 编

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

电路与信号基础 / 袁贵民, 高英主编. — 北京 :
人民邮电出版社, 2012.3
高等职业教育电子信息类专业规划教材
ISBN 978-7-115-26925-6

I. ①电… II. ①袁… ②高… III. ①电路分析—高等职业教育—教材②信号分析—高等职业教育—教材
IV. ①TM133②TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第239341号

内 容 提 要

本书共分8章,主要内容有电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路、正弦交流电路、三相电路、谐振与互感电路、非正弦周期电流电路、动态电路的时域分析和电路的复频域分析。

本书适用于高职院校的电子信息类、通信技术类、机电类、计算机类专业电路与信号基础理论课教材。并对从事电子信息行业的工程技术人员及电子爱好者有一定的参考价值。

高等职业教育电子信息类专业规划教材

电路与信号基础

-
- ◆ 主 编 袁贵民 高 英
责任编辑 李 强
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13
字数: 307 千字 2012年3月第1版
印数: 1-3 000 册 2012年3月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-26925-6

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

掌握好电路与信号的基本概念、基本理论、基本分析方法及实践技能，对学生学习后续课程及今后从事专业技术工作起着举足轻重的作用。本书结合高职高专教育特点，充分考虑到学生实际情况，按照深入浅出、循序渐进、理论联系实际、便于学生自学和教师施教的原则编写。力求叙述简练、清楚、通俗易懂。

本书适用于高职院校的电子信息类、通信技术类、机电类、计算机类等专业的电路与信号基础理论课教材，并对从事电子信息行业的工程技术人员及电子爱好者有一定的参考价值。

本书由天津电子信息职业技术学院袁贵民、高英担任主编。其中第1~5章由高英编写，第6~8章由袁贵民编写。

本书在编写过程中，参考和查阅了众多文献资料，汲取了许多养分，在此向参考文献的作者致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请使用本书的师生及其他读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路	1
1.1.1 实际电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.1.3 电路状态	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压	4
1.2.3 电功率和电能	5
1.3 电路基本元件	6
1.3.1 电阻元件	6
1.3.2 电容元件	7
1.3.3 电感元件	10
1.4 电源	12
1.4.1 电压源	12
1.4.2 电流源	13
1.5 基尔霍夫定律	14
1.5.1 电路中的专用名词	14
1.5.2 基尔霍夫电流定律 (KCL)	14
1.5.3 基尔霍夫电压定律 (KVL)	15
1.5.4 支路电流法	17
1.6 受控源	18
1.6.1 受控源的种类	18
1.6.2 含受控源电路的分析计算	19
本章小结	22
习题一	23
第 2 章 直流电阻电路	28
2.1 电阻串联、并联和混联	28
2.1.1 电阻的串联	28
2.1.2 电阻的并联	30

2.1.3	电阻的混联	31
2.2	星形电阻网络与三角形电阻网络的等效变换	32
2.2.1	Y— Δ 网络的连接方式	32
2.2.2	Y— Δ 网络的等效变换	33
2.3	两种电源模型的等效互换	34
2.4	网孔电流法	39
2.5	节点电压法	41
2.6	叠加定理与替代定理	44
2.6.1	叠加定理	44
2.6.2	替代定理	46
2.7	戴维南定理与诺顿定理	47
2.7.1	戴维南定理	47
2.7.2	诺顿定理	50
	本章小结	51
	习题二	52
第3章	正弦交流电路	57
3.1	正弦量的基本概念	57
3.1.1	正弦量的三要素	57
3.1.2	相位差	58
3.1.3	有效值	59
3.2	正弦量的相量表示法	60
3.2.1	复数及其运算规律	60
3.2.2	正弦量的相量表示	61
3.2.3	同频率正弦量的运算	62
3.3	相量形式的基尔霍夫定律	63
3.3.1	相量形式的基尔霍夫电流定律	63
3.3.2	相量形式的基尔霍夫电压定律	64
3.4	电路基本元件伏安关系的相量形式	64
3.4.1	电阻元件	64
3.4.2	电感元件	66
3.4.3	电容元件	68
3.5	RLC 串联电路	70
3.5.1	复阻抗	70
3.5.2	RLC 串联电路	71
3.5.3	多阻抗串联电路	73
3.6	RLC 并联电路	74
3.6.1	复导纳	74
3.6.2	RLC 并联电路	75

3.6.3 多阻抗并联电路	76
3.7 正弦交流电路的相量分析法	78
3.7.1 网孔电流法	78
3.7.2 戴维南定理	79
3.8 正弦交流电路的功率	80
3.8.1 瞬时功率	80
3.8.2 有功功率、无功功率、视在功率	81
3.8.3 功率因数的提高	82
本章小结	83
习题三	84
 第4章 三相电路	 88
4.1 对称三相交流电	88
4.2 三相电源的连接	89
4.2.1 三相电源的星形连接	90
4.2.2 三相电源的三角形连接	91
4.3 三相负载的连接	91
4.3.1 三相负载的星形连接	91
4.3.2 三相负载的三角形连接	92
4.4 对称三相电路的计算	94
4.5 不对称三相电路的计算	96
4.6 三相电路的功率	98
4.6.1 有功功率	98
4.6.2 无功功率	98
4.6.3 视在功率	98
本章小结	100
习题四	101
 第5章 谐振与互感电路	 103
5.1 串联谐振	103
5.1.1 串联谐振频率	103
5.1.2 串联谐振的特征	104
5.1.3 谐振曲线	105
5.2 并联谐振	106
5.2.1 并联谐振频率	107
5.2.2 并联谐振的特征	108
5.3 互感线圈的伏安关系	109
5.3.1 互感耦合基本概念	109
5.3.2 互感线圈的同名端	111

5.3.3 互感线圈的电压、电流关系	112
5.4 互感耦合电路	114
5.4.1 互感线圈的串联	114
5.4.2 互感线圈的并联	116
5.4.3 互感线圈的 T 形连接	117
5.5 空芯变压器	119
5.6 理想变压器	122
5.6.1 理想变压器初次级电压、电流关系	122
5.6.2 理想变压器的阻抗变换	123
本章小结	125
习题五	127
第 6 章 非正弦周期电流电路	129
6.1 信号	129
6.1.1 信号的基本概念	129
6.1.2 信号的描述和分类	129
6.1.3 信号的基本运算	131
6.2 非正弦周期信号	134
6.2.1 非正弦周期信号的傅里叶级数分解	135
6.2.2 几种特殊的非正弦周期信号的傅里叶级数	138
6.2.3 周期信号的频谱	140
6.2.4 有效值、平均值和平均功率	141
6.3 非正弦周期电流电路分析	143
本章小结	148
习题六	149
第 7 章 动态电路的时域分析	152
7.1 换路定律及初始值的计算	152
7.1.1 换路定律	152
7.1.2 初始值的计算	153
7.2 一阶电路的零输入响应	155
7.2.1 RC 电路的零输入响应	155
7.2.2 RL 电路的零输入响应	158
7.3 一阶电路的零状态响应	160
7.3.1 RC 电路的零状态响应	160
7.3.2 RL 电路的零状态响应	162
7.4 一阶电路的全响应及三要素法	163
7.4.1 一阶电路的全响应	163
7.4.2 一阶电路的三要素法	165

7.5	二阶电路的零输入响应	168
7.6	阶跃信号与阶跃响应	172
7.6.1	单位阶跃信号	172
7.6.2	阶跃响应	173
7.7	冲击信号与冲击响应	173
7.7.1	单位冲击信号	173
7.7.2	冲击响应	176
本章小结		177
习题七		178
第 8 章	电路的复频域分析	182
8.1	拉普拉斯变换	182
8.1.1	拉普拉斯变换的定义	182
8.1.2	常用信号的拉普拉斯变换	184
8.1.3	拉氏变换的性质	184
8.2	拉普拉斯反变换	185
8.2.1	查表法	185
8.2.2	部分分式展开法	186
8.3	电路的复频域分析法	190
8.3.1	微分方程的拉氏变换解法	190
8.3.2	电路的 s 域模型及 s 域分析	190
本章小结		193
习题八		194
参考文献		196

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

本章主要内容

1. 电路及电路模型的概念，电路的基本物理量，电流、电压及其参考方向的概念。
2. 理想电路元器件：电阻、电感、电容、电压源和电流源。
3. 电路的重要定律：基尔霍夫定律。
4. 受控源的种类及电路计算。

1.1 电 路

电路的种类多种多样，在日常生活以及生产、科研中都有着广泛的应用。例如照明电路，通信中的发射、接收电路，交通运输中各种信号的控制电路，自动化生产线上各种专门用途的电路等。总之，人们的日常生活和国民经济的发展离不开各种电路。

1.1.1 实际电路

什么是电路呢？电路是由电气设备和元器件按一定方式连接起来，为电流流通提供路径的总体。实际电路是为完成某种预期目的而设计、安装、运行的。它们具有能量的传输、转换或信息的处理、传递等功能。如电视机电路、音响设备电路、通信系统电路、自动控制系统电路等，这些电路的特性和作用不同，但它们都是物理实体，都称为实际电路。

实际电路中小到手电筒电路，大到超大规模集成电路，它们的基本部分都是由电源、负载和中间环节（导线、开关等）组成的。其各部分的作用如下。

1. 电源

电源是提供电能的装置，它将其他形式的能转换成电能。例如，干电池将化学能转换成电能，发电机将机械能转换成电能等。

2. 负载

负载是消耗电能的装置，它将电能转换成其他形式的能。例如，炉、灯泡把电能转换成热能、光能，电动机把电能转换成机械能等。

3. 中间环节

中间环节包括连接导线、控制开关等。它们将电源和负载连接起来，构成电流通路，起传递和控制电能的作用。

图 1-1 (a) 所示是最简单的手电筒电路，其电路元器件有干电池、灯泡、开关和导线。

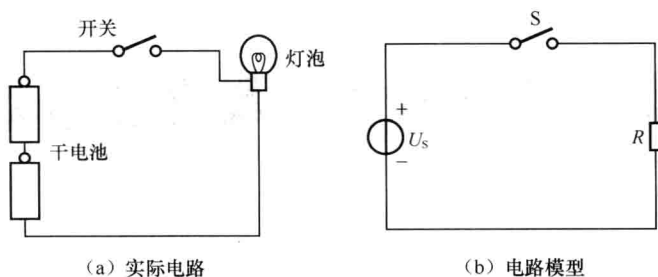


图 1-1 实际电路和电路模型

1.1.2 电路模型

实际电路元器件的电磁性能不是单一的，它具有多重性质。如干电池，在电路中它的主要特性是提供电能，但它也有一定的内阻，本身也消耗能量，这是它的次要特性；如灯泡，在电路中它的主要特性是发光、发热消耗电能，但由于灯泡的结构所致，当电流通过时还会产生磁场，这是它的次要特性。如果把实际电路元器件的各种电磁性能都加以考虑，就会给电路的分析与计算带来困难。

为了便于对实际电路进行分析和计算，我们常把电路中的实际元器件加以近似化、理想化，在一定条件下忽略其次要特性，用足以表征其主要特征的模型来表示，即把它们抽象成理想电路元器件。

理想电路元器件是具有某种电或磁性能的假想元器件，它们以及它们的组合可以反映出实际电路元器件的电磁特性和电路的电磁现象。例如，照明用电灯、加热用电炉、电动机等电路元器件，其消耗电能这一电磁特性可用理想电阻元件表示；电池忽略内阻后，可用理想电压源表示；电容元件是一种只储存电场能量的理想元器件；电感元件是一种只储存磁场能量的理想元件。由理想元器件构成的电路就是实际电路的电路模型。如图 1-1 (b) 所示是手电筒电路的电路模型。这里干电池用理想电压源 U_s 表示，灯泡用电阻 R 表示，导线电阻忽略不计。今后我们所说的电路均指由理想电路元器件构成的电路模型。

1.1.3 电路状态

电路通常有 3 种状态，即通路、开路和短路。

(1) 通路：电路构成闭合回路，有电流流通。

(2) 开路：又称断路。电路中一处或多处呈断开状态，不能形成回路，电路中没有电流流通。

(3) 短路：将电源两端的导线直接相连，电源输出的电流不经过负载直接流回电源。短路时，电路中的电流很大，容易损坏导线和设备，甚至引起火灾，所以在实际电路中应当避免短路。

1.2 电路的基本物理量

电路理论中涉及的物理量有电流、电压、电荷、磁通、电功率和电能。本节主要讨论电路的基本物理量：电流、电压、电功率和电能。

1.2.1 电流

1. 电流强度

在电场力的作用下，电荷的定向移动形成电流。电流的大小，用电流强度来表示。电流强度定义为：单位时间内通过导体横截面的电量。电流强度习惯上又被简称为电流。

电流主要分为两类：一类为大小和方向均不随时间变化的电流，叫做恒定电流，简称直流。用大写字母 I 表示为

$$I = \frac{Q}{t}$$

另一类为大小和方向均随时间变化的电流，可用微变量表示，即在一段很短的时间间隔 dt 内，通过导体横截面的电量为 dq ，则该瞬间电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

在国际单位制 (SI) 中，时间 t 的单位是秒 (s)，电荷量的单位是库仑 (C)，则电流的单位是安培 (A)。常用的电流单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA) 等，它们的关系是

$$1\text{kA} = 10^3 \text{ A} \quad 1\text{mA} = 10^{-3} \text{ A} \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

2. 电流的实际方向和参考方向

电流不但有大小，而且有方向，规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。当负电荷或电子运动时，电流的实际方向与负电荷运动的方向相反。

在分析复杂电路时，某段电路中电流的实际方向有时难以直接判断，有时电流的方向还在不断地变化，因此在电路中很难标明电流的实际方向，为了解决这一困难，引入了电流参考方向的概念。

在电路分析中，可以任意选定一个方向作为某支路电流的参考方向，用箭头表示在电路图上。当电流的实际方向与参考方向一致时，电流为正值，即 $i > 0$ ；当电流的实际方向与参考方向相反时，电流为负值，即 $i < 0$ 。这样，我们就可以在选定的参考方向下，进行电路计算，根据计算出的电流值的正负来判断某一时刻电流的实际方向。图 1-2 所示为电流的实际方向与参考方向之间的关系。电流的参考方向用实线箭头表示，有时也用双下标表示，如 i_{AB} ，其参考方向是由 A 指向 B。电流的实际方向使用虚线箭头表示。

参考方向是电路分析计算的一个重要概念，如果没有选定参考方向，电流计算值的正负是没有意义的。本书电路中所表示的电流方向一般均为参考方向。

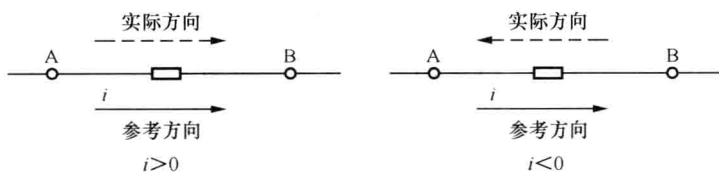


图 1-2 电流的实际方向与参考方向

1.2.2 电压

1. 电压的定义

电场力把单位正电荷 dq 从电场中某一点 a 移动到点 b 所做的功是 dW ，则 a 、 b 两点间的电压为

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq}$$

如果 $u_{ab} > 0$ ，则当 $dq > 0$ 时， $dW > 0$ ，表明电场力做正功，电压的实际方向是从 a 到 b ；如果 $u_{ab} < 0$ ，则当 $dq > 0$ 时， $dW < 0$ ，表明电场力做负功，电压的实际方向是从 b 到 a 。在 SI 中，当电量的单位为库仑 (C)，能量的单位为焦耳 (J) 时，电压的单位为伏特 (V)。电压常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)，它们的关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V} \quad 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

2. 电位

在电路中任选一点为参考点，则从电路中某点 a 到参考点之间的电压称为 a 点的电位，用 V_a 表示。电位参考点可以任意选取，工程上常选大地、设备外壳或接地点作为参考点。参考点的电位为零。

电压与电位的关系：电路中 a 、 b 两点之间的电压等于这两点的电位之差，即

$$u_{ab} = V_a - V_b$$

在电路中，一旦参考点确定，电路中各点的电位也就确定了。参考点变化，各点的电位也随之变化，但任意两点的电压不随参考点变化。

3. 电压的实际方向与参考方向

电压的实际方向是从高电位点指向低电位点。常将电压称为电压降。

电压的参考方向如同对电流规定参考方向一样，对电压也需规定参考方向。在电路中任意选定电压的参考方向，电压的参考方向有以下 3 种表示方法。

- (1) 用实线箭头表示，由假定的高电位点指向低电位点。
- (2) 用参考极性 “+”、“-” 符号表示假定的高电位点和低电位点。
- (3) 用双下标字母来表示，如 u_{ab} 表示电压参考方向由 a 点指向 b 点。

图 1-3 所示为电压参考方向的表示方法。以选定的参考方向来计算电路，若 $u > 0$ ，表示电压的实际方向与参考方向一致；若 $u < 0$ ，表示电压的实际方向与参考方向相反。

4. 关联和非关联参考方向

关联参考方向：当同一个元器件的电流参考方向和电压参考方向选择一致时，为关联参

考方向。也就是电流的流向是由电压的“+”极性端流向“-”极性端，如图1-4（a）所示。

非关联参考方向：当同一个元器件的电流参考方向和电压参考方向选择不一致时，为非关联参考方向。也就是电流从电压的“-”极性端流向“+”极性端，如图1-4（b）所示。

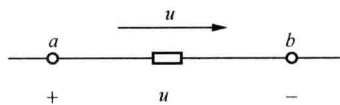


图1-3 电压参考方向的表示方法

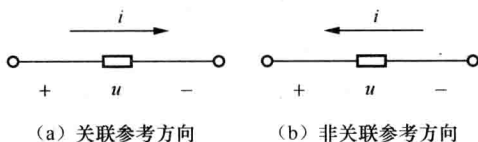


图1-4 电压与电流的参考方向

1.2.3 电功率和电能

在电路的分析和计算中，能量和功率的计算是十分重要的。这是因为电路在工作状态下总伴随电能与其他形式能量的相互转换；同时，电气设备、电路的元器件本身都有功率限制，在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值，过载会使设备和元器件损坏，或是不能正常工作。

电功率是指单位时间内电场力所做的功，简称功率。从电压定义式可知，正电荷 dq 在电场力作用下，从高电位点 a 移动到低电位点 b 时，电场力做功 $dW=udq$ ，因电流 $i=\frac{dq}{dt}$ ，所以此过程中，电路吸收的功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui$$

当电压、电流为关联参考方向时，电路吸收的功率为

$$p = ui$$

直流电路

$$P = UI$$

当电压、电流为非关联参考方向时，电路吸收的功率为

$$p = -ui$$

$$P = -UI$$

直流电路

在计算功率时，若计算结果 $p > 0$ ，表示电路实际为吸收（或消耗）功率；若计算结果 $p < 0$ ，表示电路实际为发出（或产生）功率。

能量是功率对时间的积分，在 t_0 到 t 时间内电路吸收的电能为

$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt$$

直流电路

$$W = P (t - t_0)$$

在国际单位制（SI）中，功率的单位是瓦特，简称瓦（W），工程上常用的功率单位还有兆瓦（MW）、千瓦（kW）和毫瓦（mW）等，它们之间的关系为

$$1\text{MW}=10^6\text{W} \quad 1\text{kW}=10^3\text{W} \quad 1\text{mW}=10^{-3}\text{W}$$

当功率 P 的单位是瓦时，能量的单位是焦耳，简称焦（J），1J 等于功率是 1W 的用电设备在 1s 的时间内消耗的电能。工程上或生活中还常用千瓦时（kW·h）作为电能的单位，1 kW·h 又称为 1 度电。

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 10^3\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6\text{J}$$

例 1.1 如图 1-5 所示电路中, 已知元器件 A 两端的电压 $U = -8\text{V}$, 电流 $I = 3\text{A}$; 元器件 B 两端的电压 $U = 6\text{V}$, 电流 $I = -2\text{A}$, 求元器件 A、B 吸收的功率各为多少?

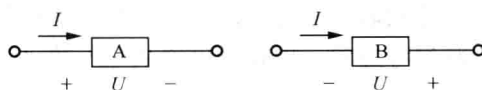


图 1-5 例 1.1 电路

解 对于元器件 A, 电压、电流为关联参考方向, 故吸收的功率为

$$P_A = UI = -8 \times 3 = -24(\text{W})$$

元器件 A 吸收的功率为 -24W , $P_A < 0$, 表明元件 A 实际为发出功率 24W 。

对于元器件 B, 电压、电流为非关联参考方向, 故吸收的功率为

$$P = -UI = -6 \times (-2) = 12(\text{W})$$

$P_B > 0$, 表明元器件 B 实际为吸收功率, 吸收功率为 12W 。

1.3 电路基本元件

电阻元件、电感元件和电容元件是最基本、最常见的电路元件, 每一种元件反映某种确定的电磁特性。为进一步了解电阻元件、电感元件和电容元件的特性, 本节分别加以讨论。

1.3.1 电阻元件

电阻元件是最常见的电路元件之一, 它是从实际电阻器抽象出来的理想电路元件。实际电阻器由电阻材料制成, 如线绕电阻、碳膜电阻、金属膜电阻等。电阻元件简称为电阻, 它是一种对电流呈现阻碍作用的耗能元件。

电阻元件的定义: 一个二端元件在任一瞬间, 电压和电流两者之间的关系若能由 $u-i$ 平面上一条曲线所决定, 则此二端元件称为电阻元件。

1. 线性电阻

电阻元件两端的电压 u 与通过它的电流 i 成正比, 这就是欧姆定律。如果取电流为横坐标, 电压为纵坐标, 可绘出 $u-i$ 平面上的一条曲线, 称为电阻的伏安特性曲线。

在任何时刻, 两端电压与其电流的关系都服从欧姆定律的电阻元件叫做线性电阻元件。线性电阻元件的伏安特性是通过坐标原点的一条直线, 与非线性电阻元件的伏安特性不再是一条通过原点的直线, 而是一条曲线。

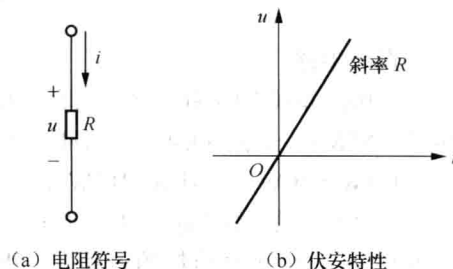
在电压与电流关联参考方向下可写成

$$u = Ri$$

电压和电流为非关联参考方向时, 则应为

$$u = -Ri$$

线性电阻的电路符号和伏安特性如图 1-6 所示。



(a) 电阻符号

(b) 伏安特性

图 1-6 线性电阻

其伏安特性的斜率即为电阻的阻值。

电阻的倒数叫电导, 用符号 G 表示, 即

$$G = \frac{1}{R}$$

当电压 u 的单位为伏特, 电流 i 的单位为安培时, 电阻的单位是欧姆 (Ω), 电导的单位是西门子, 简称西 (S)。用电导来表示电压和电流之间的关系时, 欧姆定律形式写为

$$i = Gu \quad (u、i \text{ 为关联参考方向})$$

$$i = -Gu \quad (u、i \text{ 为非关联参考方向})$$

当线性电阻的阻值为无限大时, 由于它两端的电压为有限值, 所以通过它的电流为零, 电路的这种状态称为开路。

当阻值为零时, 由于电流为有限值, 则其电压为零, 电路的这种状态称为短路。

对于电力系统, 电源两端不允许短路。由于电源短路时电流 $i = \frac{u_s}{R_s}$, 电源内阻 R_s 较小, 使短路电流很大而损坏电气设备。

2. 电阻元件吸收的功率

对于线性电阻元件, 在电压与电流关联参考方向下, 任何时刻元件吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2$$

由于线性电阻元件上电压、电流的实际方向总是一致的, 并且 R 和 G 是正实常数, 所以功率 p 恒为正值。说明在任何时刻电阻元件都不可能发出功率, 而只能从电路中吸收功率, 所以电阻元件是耗能元件。

能量是功率对时间的积分, 由 t_0 到 t 时间内电阻元件上吸收的电能 W 表示为

$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t Ri^2 dt = \int_{t_0}^t Gu^2 dt$$

当电阻元件上的电流为直流时

$$W = p(t - t_0) = UIT = RI^2T = GU^2T$$

式中, $T = (t - t_0)$, I 、 U 分别表示直流电流和直流电压。

例 1.2 一个 100Ω 、 $0.25W$ 的电阻, 使用时允许加多大的电压? 一个 $10k\Omega$ 、 $0.5W$ 的电阻, 使用时允许通过的最大电流是多少?

解 由 $P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2R$, 得

$$U = \sqrt{PR} = \sqrt{0.25 \times 100} = 5V \quad (\text{允许加的最大电压})$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0.5}{10 \times 10^3}} = 7.07mA \quad (\text{允许通过的最大电流})$$

1.3.2 电容元件

在工程技术中, 电容器的应用极为广泛。电容器虽然品种、规格各异, 但其构成原理是相同的, 电容器都是由间隔以不同介质 (如云母、绝缘纸、电解质等) 的两块金属板组成的。在电容两个极板间加上一定电压后, 两个极板上会分别聚集起等量正、负电荷, 并在介质中

形成电场。去掉电容两个极板上的电压，电荷能长久储存，电场仍然存在。因此电容器是一种能储存电场能量的元件。电容元件就是反映这种物理现象的电路模型。

1. 线性电容

电容元件的特性由两个极板上所加的电压 u 和极板上储存的电荷 q 来表征。取 u 为横坐标， q 为纵坐标，二者之间的关系可以用 $q-u$ 平面上的一条曲线来确定。如果该曲线是一条通过坐标原点的直线，则此电容为线性电容。直线的斜率就是电容器的电容量 C ，即

$$C = \frac{q}{u}$$

式中电容量 C 简称为电容，因此电容一词既表示电容元件，又表示电容元件的参数，线性电容的电路符号和它在 $q-u$ 平面上的特性曲线，如图 1-7 所示。

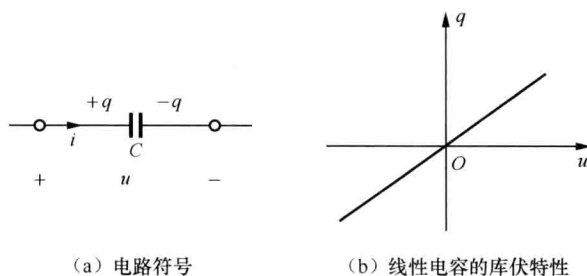


图 1-7 线性电容

电容的 SI 单位为法拉 (F)。实际电容的电容量很小，因此常用的电容量单位为微法 (μF) 和皮法 (pF)，它们之间的关系是

$$1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F} \quad 1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$$

2. 电容元件的电压与电流关系

如果加在电容两个极板上的电压为直流电压，则极板上的电荷量不发生变化，电路中没有电流，电容相当于开路，所以电容有隔断直流的作用。如果加在电容上的电压随时间变化，则极板上的电荷就会随之变化，电路中就会产生传导电流。如果电容元件的电压 u 和电流 i 为关联参考方向时，如图 1-7 (a)，则有

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

当 u 、 i 为非关联参考方向时，有

$$i = -C \frac{du}{dt}$$

可见，任一时刻通过电容的电流与电容两端电压的变化率成正比，而与该时刻的电压值无关。当电压升高时， $\frac{du}{dt} > 0$ ，则 $\frac{dq}{dt} > 0$ ，极板上电荷量增加，电容器充电， $i > 0$ ；当电压降低时， $\frac{du}{dt} < 0$ ，则 $\frac{dq}{dt} < 0$ ，极板上电荷量减少，电容器放电， $i < 0$ ；直流电压 $\frac{du}{dt} = 0$ ，所以 $i = 0$ 。

电容元件伏安关系的微分形式还表明了一个重要的特性：在任何时刻，如果通过电容的